
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

MATHEMATICS METHODS AND INFORMATION SYSTEMS IN CHEMICAL TECHNOLOGY

<https://doi.org/10.32362/2410-6593-2019-14-4-69-76>



УДК 621.311.6:621.3.089.2

Верификация функциональных моделей химических производств

Е.В. Бурляева[@], В.В. Бурляев, В.В. Кононенко, В.С. Цеханович

МИРЭА – Российский технологический университет (Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова), Москва 119571, Россия

[@]Автор для переписки, e-mail: burlyaeva@mirea.ru, lenbur@yandex.ru

Разработан обобщенный алгоритм верификации функциональных моделей и правила проверки связанных отношением детализации диаграмм. Алгоритм основан на анализе дерева, описывающего отношение детализации функциональных диаграмм. На каждом шаге алгоритма выбирается пара, состоящая из родительской и функциональной диаграмм, и для этой пары выполняется проверка соответствия стрелок и их ролей. Формализация правил проверки выполнена на основе теоретико-множественного представления функциональных диаграмм в виде помеченных ориентированных графов. Правила позволяют сопоставить положение и роли стрелок, связанных с детализуемым функциональным блоком родительской диаграммы, и стрелок дочерней диаграммы. Построены правила для каждой из возможных ролей стрелки: «вход», «выход», «управление», «механизм». Для реализации построенного алгоритма предложено использование языка логического программирования ПРОЛОГ. Предложена структура базы знаний, включающая 3 взаимосвязанных предиката для описания дерева детализации, вершин и дуг графов, задающих функциональные диаграммы. Сформирован запрос для проверки правил верификации, рассмотрены способы связывания переменных и фиксации ролей. В качестве примера выполнен анализ и верификация фрагмента функциональной модели получения винилацетата из этилена. Приведены функциональные диаграммы для процессов «Разделение конденсата» и «Получение винилацетата», связанных отношением детализации, построены их теоретико-множественные модели, рассмотрено применение правил верификации для каждого типа стрелок.

Ключевые слова: функциональное моделирование, верификация функциональной модели, теория множеств, теория графов, получение винилацетата.

Verification of functional models of chemical manufacturing

Elena V. Burlyaeva, Valery V. Burlyaev, Violetta V. Kononenko, Viktor S. Tsekhanovich

MIREA – Russian Technological University (M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies), Moscow 119571, Russia

[@]Corresponding author, e-mail: burlyaeva@mirea.ru, lenbur@yandex.ru

A generalized algorithm for the verification of functional models and the rules for the verification of diagrams related by levels of detail were developed in this paper. The algorithm is based on the analysis of a tree which describes the decompose relations in functional diagrams. At each step of the algorithm, a pair consisting of a parent diagram and a functional diagram is selected, and the correlation of the arrows and their roles is checked for both. The formalization of the verification rules

was based on the set-theoretic representation of functional diagrams in the form of labeled oriented graphs. The rules make it possible to map the position and roles of the arrows associated with the detailed function block of the parent diagram to the arrows of the child diagram. The following rules for each of the possible arrow roles were established: "input", "output", "control", "mechanism". The use of the logic programming language PROLOG was proposed for the implementation of the algorithm. A knowledge base structure comprised of 3 interrelated predicates to describe the tree of diagrams, nodes and edges of the graphs was suggested. A query to check the verification rules was formed, and methods of binding variables and fixing roles were considered. The analysis and verification of a fragment of a functional model for the production of vinyl acetate from ethylene was conducted as an example. The functional diagrams for the processes "Condensate separation" and "Vinyl acetate isolation" connected by a decompose relation were developed, their set-theoretic models were constructed, and the use of rules for the verification of each type of arrow were considered.

Keywords: functional modeling, functional model verification, set theory, graph theory, vinyl acetate production.

Введение

Повышение эффективности российской химической промышленности на основе постоянной модернизации и совершенствования производства является одной из важных и актуальных задач. Методология функционального моделирования предназначена для проектирования, описания и анализа производственных систем с целью повышения их эффективности [1, 2].

Как правило, в качестве основных преимуществ методологии функционального моделирования по сравнению с другими средствами описания производственных и организационных процессов рассматривают наглядность, возможность использования специалистами различного профиля, отсутствие ограничений на степень детализации [3–5]. Возможность строгой формализации функциональных моделей, их анализа и верификации декларируется в литературе [6, 7] и реализована в ряде коммерческих программных продуктов, предназначенных для создания функциональных моделей^{1,2} [8]. Однако задача разработки правил и алгоритмов проверки функциональных моделей в настоящее время не решена.

Обобщенный алгоритм верификации функциональной модели

В соответствии с [9], функциональная модель представляет собой совокупность диаграмм, связанных отношением декомпозиции. Структура модели может быть представлена в виде дерева. Каждая ветвь этого дерева задает пару, состоящую из родительской и дочерней диаграмм, причем дочерняя диаграмма представляет собой детализацию одного из функциональных блоков родительской диаграммы.

Каждой стрелке, связанной с детализируемым функциональным блоком, на дочерней диаграмме

должна соответствовать граничная стрелка. Ее роль однозначно определяется ролью соответствующей стрелки на родительской диаграмме. Для проверки корректности построения функциональной модели необходимо проанализировать все взаимосвязи между родительскими и дочерними диаграммами и проверить наличие и роли стрелок. Обобщенный алгоритм верификации функциональной модели приведен на рис. 1.

Этот алгоритм описывает последовательный перебор связанных отношением декомпозиции диаграмм, выбор стрелок, которые должны отображаться на дочерних диаграммах, и проверку их ролей (далее эта проверка будет рассмотрена более подробно).

Для формализации этого алгоритма необходимо перейти от наглядного представления функциональной модели в виде графических диаграмм к ее математическому описанию.

Формализация правил верификации функциональной модели на основе ее теоретико-множественного представления

В работе [10] предложено теоретико-множественное представление функциональных моделей в виде совокупности ориентированных графов специального вида, связанных отношением детализации. Такое представление обеспечивает возможность применения математического аппарата, накопленного в рамках теории графов [11], для верификации и анализа функциональных диаграмм.

Отдельная функциональная диаграмма не является графом, поскольку диаграмма может содержать граничные и ветвящиеся стрелки, в то время как дуги графа соединяют ровно две его вершины. Существенно, что семантика описываемых функциональной диаграммой действий задается не только названием дуги, но и ее положением относительно функционального блока. Детализированное описание преобразования диаграммы в граф приведено в [10];

¹Интернет-источник <https://www.ca.com/us.html>

²Интернет-источник <https://www.edrawsoft.com/IDEF0-flowcharts.php>

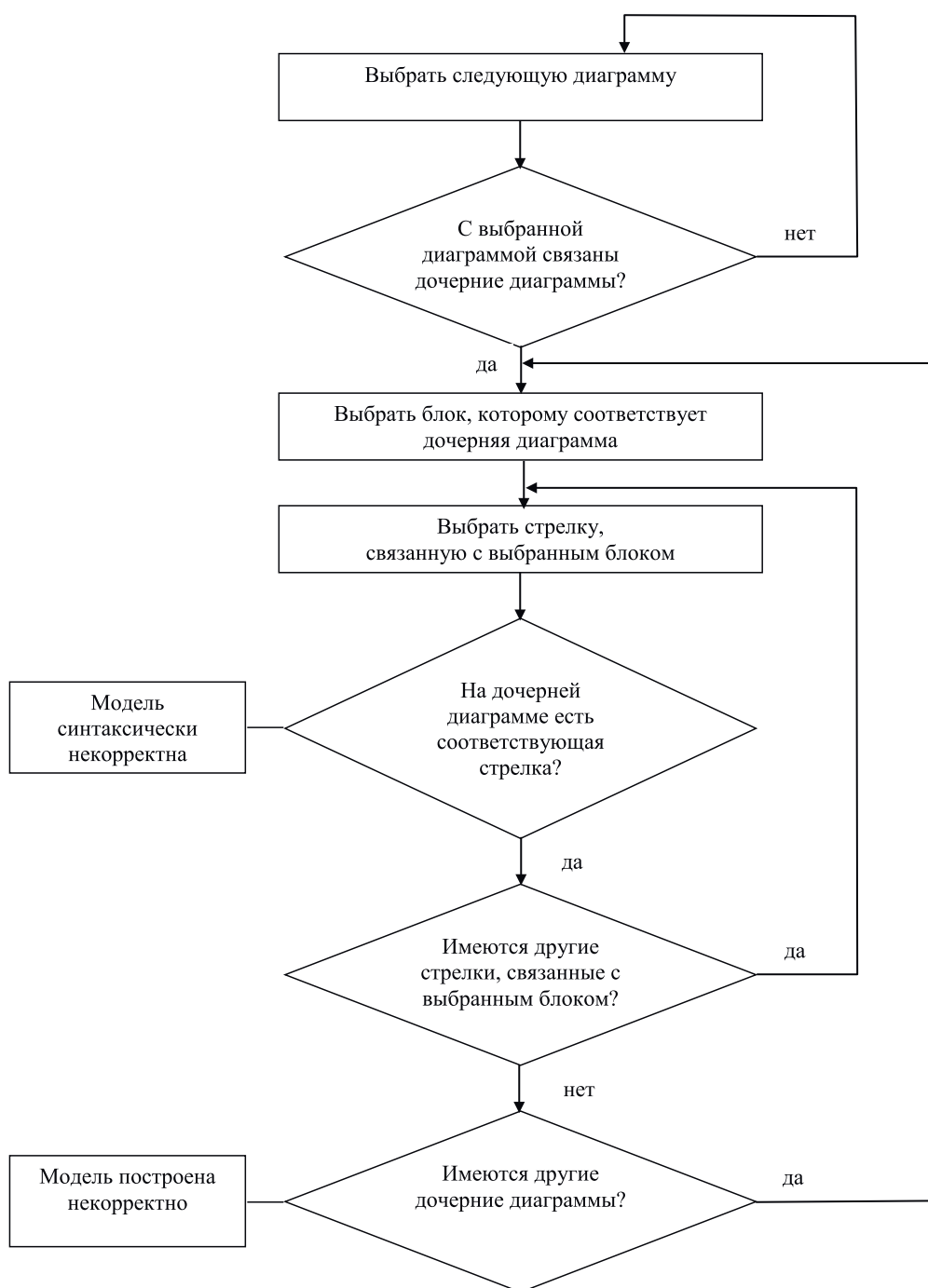


Рис. 1. Алгоритм проверки корректности функциональной модели.

кратко перечислим основные его особенности:

- диаграмма представляется в виде графа с помеченными дугами

$G = (N, L)$, где N – множество вершин, L – множество дуг;

- вершины графа задают функциональные блоки, границы диаграммы и точки ветвления стрелок;
- каждая дуга графа имеет метку, причем метка может не являться уникальной;
- при задании дуг графа указываются не только имена вершин, но и их роли. Каждая дуга графа задается следующим образом:

**название_дуги(роль_начальной_вершины:
Имя_начальной_вершины,
роль_конечной_вершины:
Имя_конечной_вершины)**

Для формализации правил верификации моделей введем следующие обозначения:

$DP = (NP, LP)$ – граф, задающий родительскую диаграмму;

NP – множество вершин графа DP ;

LP – множество дуг графа DP ;

(DP, DC, nb) – элемент отношения decompose, который описывает декомпозицию блока nb родитель-

ской диаграммы, $nb \in NP$;

$DC = (NC, LC)$ – граф, задающий дочернюю диаграмму;

NC – множество вершин графа DC ;

LC – множество дуг графа DC ;

$np \in NP$ – элемент множества NP , $np \neq nb$;

$nc \in NC$ – элемент множества NC .

Рассмотрим правила, связывающие элементы множеств LP и LC (дуги графов, задающих родительскую и дочернюю диаграммы):

1) каждой стрелке родительской диаграммы, которая входит в блок nb слева, на дочерней диаграмме соответствует по крайней мере одна стрелка с той же меткой, которая выходит из левой границы диаграммы и указывает на какой-либо блок дочерней диаграммы слева:

если $lp(O:np, I:nb) \in LP$, то $lp(O:L, I:nc) \in LC$

2) каждой стрелке родительской диаграммы, которая выходит из блока nb , на дочерней диаграмме соответствует по крайней мере одна стрелка с той же меткой, которая входит в правую границу диаграммы из какого-либо блока дочерней диаграммы:

если $lp(O:nb, I:np) \in LP$, то $lp(O:nc, I:R) \in LC$

3) каждой стрелке родительской диаграммы, которая входит в блок nb сверху, на дочерней диаграмме соответствует по крайней мере одна стрелка с той же меткой, которая выходит из верхней границы диаграммы и указывает на какой-либо блок дочерней диаграммы сверху:

если $lp(O:np, C:nb) \in LP$, то $lp(O:U, C:nc) \in LC$

4) каждой стрелке родительской диаграммы, которая входит в блок nb снизу, на дочерней диаграмме соответствует по крайней мере одна стрелка с той же меткой, которая выходит из нижней границы диаграммы и указывает на какой-либо блок дочерней диаграммы снизу:

если $lp(O:np, M:nb) \in LP$, то $lp(O:D, M:nc) \in LC$

Вершины np и nc могут задавать как блоки соответствующих функциональных диаграмм, так и их границы или точки ветвления. Отметим также, что одной стрелке родительской диаграммы могут соответствовать несколько стрелок дочерней в том случае, если на дочерней диаграмме стрелка ветвится, но ее метка при этом не меняется.

Для реализации алгоритма верификации функциональной модели подходят языки программирования, содержащие удобные средства описания и анализа отношений, а также средства сопоставления по образцу. Наиболее удобным представляется язык логического программирования ПРОЛОГ, под-

держивающий предикатную нотацию для хранения отношений и предоставляющий развитые средства описания логических правил со связанными переменными [12]. Для хранения функциональной модели в языке ПРОЛОГ потребуется база знаний, включающая 3 предиката: описание отношения детализации (*decompose*), множества вершин (*node*) и множества дуг (*edge*). Правила для проверки модели представляют собой конъюнкцию этих предикатов, а ограничения задаются с помощью фиксации ролей и связывания переменных. Так, первое правило, описывающее соответствие между стрелками с ролью «вход», может быть проверено с помощью следующего запроса:

```
?-decompose(DP,DC,NB),
   edge(LP,o,NP,i,NB),
   edge(LP,o,l,i,NC),
   node(NC,DC).
```

В этом запросе переменные, по правилам ПРОЛОГА названные заглавными буквами, обозначают:

DP – имя родительской диаграммы;

DC – имя дочерней диаграммы;

NB – название функционального блока, который детализирован;

LP – метка дуги родительской диаграммы;

NP – имя начальной вершины дуги LP на родительской диаграмме;

NC – имя конечной вершины дуги LP на дочерней диаграмме.

Строчные буквы o и i фиксируют роли вершин, строчная буква l задает вершину, соответствующую левой границе диаграммы.

Пример верификации фрагмента функциональной модели производства винилацетата из этилена

Рассмотрим проверку правильности построения диаграмм на примере функциональной модели производства винилацетата из этилена. Обобщенная технологическая схема этого производства приведена в [13], его функциональная и теоретико-множественная модель построены в [10]. Для примера выберем в качестве родительской диаграмму «Разделение конденсата» уровня $A4$, представленную на рис. 2.

Как видно из рисунка, эта диаграмма состоит из 4 функциональных блоков, каждый из которых декомпозируется в виде отдельной дочерней диаграммы. Рассмотрим взаимосвязи диаграммы «Разделение конденсата» и диаграммы «Выделение винилацетата», которая описывает получение целевого продукта – винилацетата. Эта диаграмма имеет уровень $A44$ и представляет собой результат декомпозиции последнего, четвертого функционального блока родительской диаграммы. Итак, мы анализируем элемент отношения *decompose*

($A4, A44$, Выделение винилацетата).

Из рис. 2 видно, что в диаграмме «Разделение конденсата» на функциональный блок «Выделе-

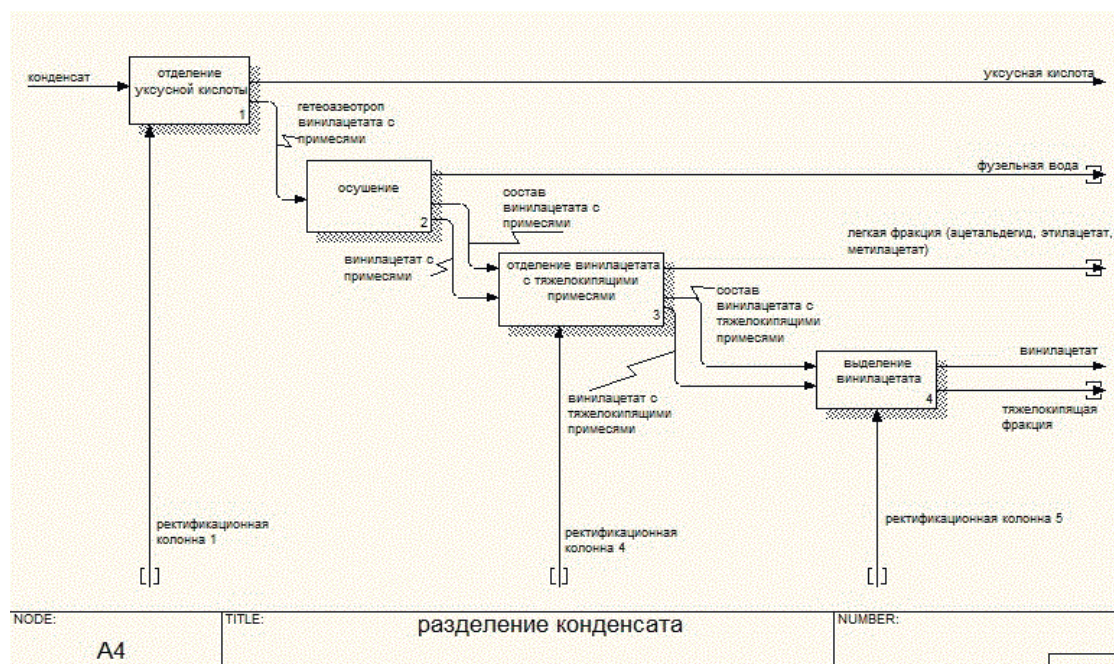


Рис. 2. Родительская функциональная диаграмма «Разделение конденсата».

ние винилацетата» указывают две стрелки с ролью «вход» и одна стрелка с ролью «механизм», из этого блока выходят две стрелки с ролью «выход». Приведем фрагмент теоретико-множественного описания родительской диаграммы (рис. 3). Граф A4 состоит из множества вершин N4 (это множество на рис. 3

приведено полностью) и множества дуг L4 (приведено подмножество этого множества, включающее дуги, связанные с вершиной «Выделение винилацетата»). Для наглядности метки дуг выделены курсивом, название декомпозируемой вершины – полужирным курсивом.

$A4 = (N4 ; L4)$, где

$N4 = \{L, R, U, D, \text{Отделение_уксусной_кислоты}, \text{Сушение}, \text{Отделение_винилацетата_с_тяжелокипящими_примесями}, \text{Выделение_винилацетата}\}$

$L4 \supset \{\text{состав_винилацетата_с_тяжелокипящими_примесями} \\ (\text{O:Отделение_винилацетата_с_тяжелокипящими_примесями}, \\ \text{I: **Выделение_винилацетата**})$

винилацетат_с_тяжелокипящими_примесями

(O: Отделение_винилацетата_с_тяжелокипящими_примесями, \\ I: **Выделение_винилацетата**)

ректификационная_колонна_5(O:D, M: **Выделение_винилацетата**)

винилацетат(O: **Выделение_винилацетата**, I:R)

тяжелокипящая_фракция(O: **Выделение_винилацетата**, I:R)}

Рис. 3. Теоретико-множественное представление функциональной диаграммы «Разделение конденсата» (фрагмент).

Диаграмма, полученная в результате декомпозиции функционального блока «Выделение винилацетата» приведена на рис. 4. Проанализируем ее теоретико-множественное представление – граф A44 (рис. 5).

Множество вершин этого графа (N44) включает в себя всего 2 вершины, соответствующие функциональным блокам диаграммы, и 4 служебные вершины. Поскольку название одного из блоков очень длинное, имя описывающей его вершины сокращено.

Множество дуг графа L44 приведено на рис. 5 полностью; как и ранее, метки дуг выделены курсивом.

Сравним описания дуг родительской и дочерней диаграмм. На родительской диаграмме от блока 3 к блоку 4 ведет стрелка «винилацетат_с_тяжелокипящими_примесями». Для блока «Выделение винилацетата» эта стрелка имеет роль «вход». На дочерней диаграмме этой стрелке соответствует стрелка, ведущая от левого края диаграммы к блоку «Выбор упр параметров».

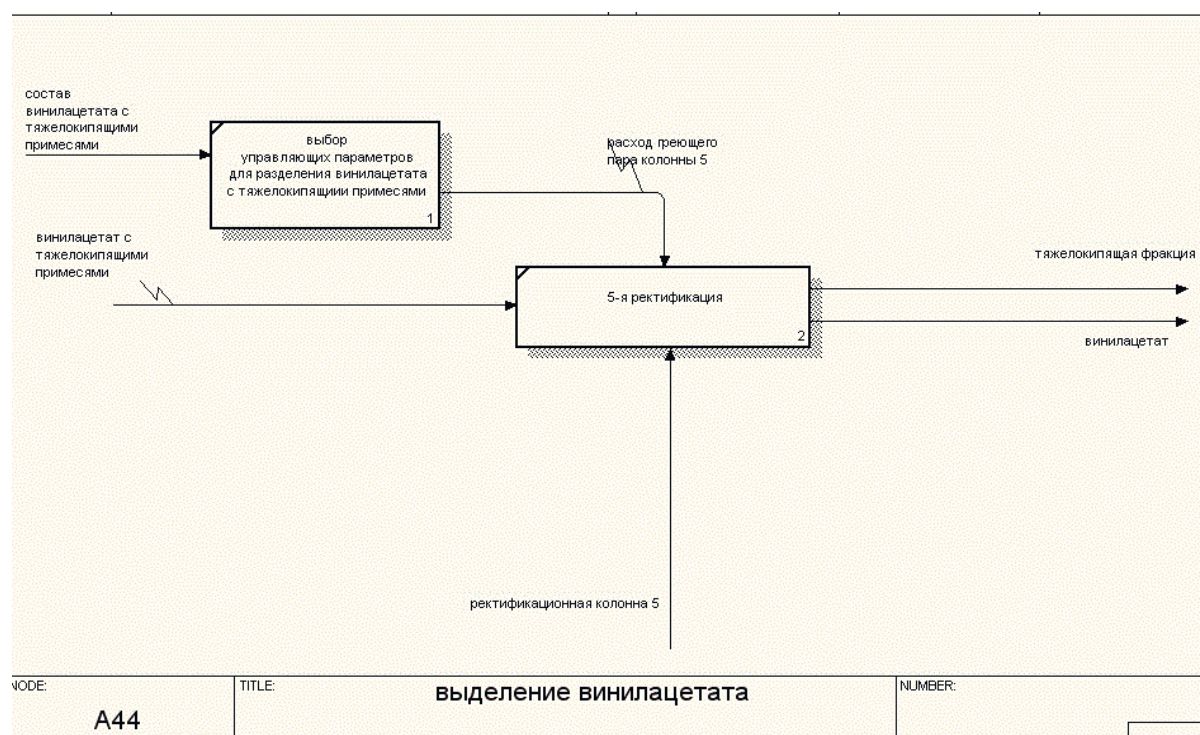


Рис. 4. Дочерняя функциональная диаграмма «Выделение винилацетата».

$A44 = \{N44; L44\}$, где
 $N44 = \{L, R, U, D, \text{Выбор_упр_параметров}, 5\text{-я_ректификация}\}$
 $L44 = \{\text{состав_винилацетата_с_тяжелокипящими_примесями} (O:L, I: \text{Выбор_упр_параметров})$
 $\text{винилацетат_с_тяжелокипящими_примесями} (O:L, I: 5\text{-я_ректификация})$
 $\text{ректификационная_колонна_5} (O:D, M: 5\text{-я_ректификация})$
 $\text{тяжелокипящая_фракция} (O: 5\text{-я_ректификация}, I: R)$
 $\text{винилацетат} (O: 5\text{-я_ректификация}, I: R)$
 $\text{расход_греющего_пара_колонны_5} (O: \text{Выбор_упр_параметров}, I: 5\text{-я_ректификация})\}$

Рис. 5. Теоретико-множественное представление функциональной диаграммы «Выделение винилацетата».

Теоретико-множественное описание этих стрелок должно соответствовать правилу 1, где

$nb = \text{«Выделение винилацетата»}$,

$lp = \text{«винилацетат_с_тяжелокипящими_примесями»}$,

$nc = \text{«Выбор_упр_параметров»}$.

Проверка показывает, что правило выполняется.

Аналогично, на родительской диаграмме от нижнего края к блоку «Выделение винилацетата» ведет стрелка с ролью «механизм». На дочерней диаграмме этой стрелке соответствует стрелка, также ведущая от нижнего края к функциональному блоку «5-я ректификация». Теоретико-множественное описание этих стрелок должно соответствовать правилу 4,

где

$nb = \text{«Выделение винилацетата»}$,

$lp = \text{«ректификационная_колонна_5»}$,

$nc = \text{«5-я ректификация»}$.

Анализ остальных стрелок родительской и дочерней диаграмм показывает, что каждой дуге родительской диаграммы соответствует одна дуга дочерней, подчиняющаяся либо правилу 1, либо правилу 2, либо правилу 4. На дочерней диаграмме имеется единственная стрелка, не связанная с родительской диаграммой – стрелка «расход греющего пара колонны 5».

Таким образом, показано, что декомпозиция функционального блока «Выделение винилацетата» выполнено корректно.

Заключение

Алгоритм верификации функциональной модели основан на анализе дерева, описывающего отношение детализации функциональных диаграмм. На каждом шаге алгоритма выбирается пара, состоящая из родительской и функциональной диаграмм, и вы-

полняется проверка правил соответствия стрелок на этих диаграммах. Для формализации этих правил используется теоретико-множественное представление диаграмм в виде графов, для их реализации – язык логического программирования ПРОЛОГ.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы:

1. Черемных С.В., Семенов И.О., Ручкин В.С. Моделирование и анализ систем. IDEF-технологии. М.: Финансы и статистика, 2006. 192 с.
2. Мышенков К.С. Методика обоснования выбора CASE-средств для анализа и проектирования систем управления предприятиями // Инновации. 2013. № 10(180). С. 112–122.
3. Ерушева К.И., Колыбанов К.Ю., Тишаева И.Р. Функциональное моделирование процесса выбора наилучшей доступной технологии // Тонкие химические технологии. 2017. Т. 12. № 4. С. 98–105. <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2017-12-4-98-105>
4. Вичугова А.А. Методы и средства концептуального проектирования информационных систем: сравнительный анализ структурного и объектно-ориентированного подходов // Прикладная информатика. 2014. № 1(49). С. 56–65.
5. Бурляева Е.В., Бурляев В.В., Фролкова А.К. Функциональное моделирование производств основного органического синтеза на примере получения винилацетата // Химическая технология. 2016. № 9. С. 418–423.
6. Jeong K.-Y., Wu L., Hong J.-D. IDEF method-based simulation model design and development framework // J. Ind. Eng. & Manag. 2009. V. 2. № 2. P. 337–359. <http://dx.doi.org/10.3926/jiem.v2n2.p337-359>
7. Репин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. 544 с.
8. Маклаков С.В. Моделирование бизнес-процессов с AllFusion Process Modeler (BPwin 4.1). М.: Диалог-МИФИ, 2002. 240 с.
9. Рекомендации по стандартизации. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. М.: Госстандарт России, 2001. 19 с.
10. Бурляева Е.В., Бурляев В.В., Цеханович В.С. Теоретико-множественное представление функциональных моделей химических производств // Тонкие химические технологии. 2017. Т. 12. № 5. С. 71–78. <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2017-12-5-71-78>
11. Алексеев В.Е., Таланов В.А. Графы и алгоритмы. Структуры данных. Модели вычислений. М.: Интуит, Бином, 2012. 320 с.
12. Марков В.Н. Современное логическое программирование на языке Visual Prolog 7.5. СПб.: БХВ-Петербург, 2016. 544 с.
13. Тимофеев В.С., Серафимов Л.А., Тимошенко А.В. Принципы технологии основного органического и нефтехимического синтеза. М.: Высшая школа, 2010. 408 с.

References:

1. Cheremnyh S.V., Semenov I.O., Ruchkin V.S. Modelling and system analysis. IDEF technology. Moscow: Finansy i statistika Publ., 2006. 192 p. (in Russ.).
2. Myshenkov K.S. Justification technique of a choice of CASE-tools for the analysis and design of management systems by enterprise. *Innovatsii* [Innovations]. 2013;10(180):12-122 (in Russ.).
3. Erusheva K., Kolybanov K., Tishaeva I. Functional modeling of the process of choosing the best available technique. *Tonkie Khimicheskie Tekhnologii = Fine Chemical Technologies*. 2017;12(4):98-105 (in Russ.). <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2017-12-4-98-105>
4. Vichugova A.A. Methods and tools for conceptual design of information systems: comparative analysis of structural and object-oriented approaches. *Prikladnaya informatika* [Journal of Applied Informatics]. 2014;1(49):56-65 (in Russ.).
5. Burlyayeva E., Burlyayev V., Frolova A. Functional simulation of basic organic synthesis production by vinyl acetate manufacturing. *Khimicheskaya tekhnologiya* [Journal of Chemical Technology]. 2016;9:418-423 (in Russ.).
6. Jeong K.-Y., Wu L., Hong J.-D. IDEF method-based simulation model design and development framework. *Journal of Industrial Engineering and Management*. 2009;2(2):337-359. <http://dx.doi.org/10.3926/jiem.v2n2.p337-359>
7. Repin V., Eliferov V. Process approach to management. Business process modeling. Moscow: Mann, Ivanov and Ferber Publ., 2013. 544 p. (in Russ.).
8. Maklakov S.V. Business process modeling with All Fusion Process Modeler (BPwin 4.1). Moscow: Dialog-MIFI Publ., 2002. 240 p. (in Russ.).
9. Recommendations for standardization. Information technology support the life cycle of product. Methodology of functional modeling. Moscow: Gosstandart Publ., 2001. 19 p. (in Russ.).
10. Burlyayeva E.V., Burlyayev V.V., Tsekhanovich V.S. Set-theoretic description of functional models of chemical manufacturing. *Tonkie Khimicheskie Tekhnologii = Fine Chemical Technologies*. 2017;12(5):71-78 (in Russ.). <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2017-12-5-71-78>
11. Alekseev V., Talanov V. Graphs and algorithms. Data structures. Calculation models. Moscow: Intuit, Binom Publ., 2012. 320 p. (in Russ.).
12. Markov V.N. Modern logical programming in Visual Prolog 7.5. Saint Petersburg: BHV-Peterburg Publ., 2016. 544 p. (in Russ.).
13. Timofeev V.S., Serafimov L.A., Timoshenko A.V. Principles of technology of basic organic and petrochemical synthesis. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 2010. 408 p. (in Russ.).

Об авторах:

Бурляева Елена Валерьевна, доктор технических наук, профессор кафедры информационных систем в химической технологии Института тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (Россия, 119571, Москва, пр. Вернадского, д. 86). <http://orcid.org/0000-0003-1371-1410>, Scopus Author ID 36964878300

Бурляев Валерий Викторович, кандидат технических наук, профессор кафедры информационных систем в химической технологии Института тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (Россия, 119571, Москва, пр. Вернадского, д. 86). Scopus Author ID 6508353813

Кононенко Виолетта Витальевна, аспирантка кафедры информационных систем в химической технологии Института тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (Россия, 119571, Москва, пр. Вернадского, д. 86).

Цеханович Виктор Сергеевич, аспирант кафедры информационных систем в химической технологии Института тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (Россия, 119571, Москва, пр. Вернадского, д. 86).

About the authors:

Elena V. Burlyayeva, Dr. of Sci. (Engineering), Professor of the Chair of Information Systems in Chemical Technology, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, MIREA – Russian Technological University (86, Vernadskogo pr., Moscow 119571, Russia). <http://orcid.org/0000-0003-1371-1410>, Scopus Author ID 36964878300

Valery V. Burlyayev, Cand. of Sci. (Engineering), Professor of the Chair of Information Systems in Chemical Technology, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, MIREA – Russian Technological University (86, Vernadskogo pr., Moscow 119571, Russia). Scopus Author ID 6508353813

Violetta V. Kononenko, Postgraduate Student of the Chair of Information Systems in Chemical Technology, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, MIREA – Russian Technological University (86, Vernadskogo pr., Moscow 119571, Russia).

Viktor S. Tsekhanovich, Postgraduate Student of the Chair of Information Systems in Chemical Technology, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, MIREA – Russian Technological University (86, Vernadskogo pr., Moscow 119571, Russia).

Для цитирования: Бурляева Е.В., Бурляев В.В., Кононенко В.В., Цеханович В.С. Верификация функциональных моделей химических производств // Тонкие химические технологии. 2019. Т. 14. № 4. С. 69–76. <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2019-14-4-69-76>

For citation: Burlyayeva E.V., Burlyayev V.V., Kononenko V.V., Tsekhanovich V.S. Verification of functional models of chemical manufacturing. *Tonkie Khimicheskie Tekhnologii = Fine Chemical Technologies*. 2019;14(4):69-76 (in Russ.). <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2019-14-4-69-76>